

Авторска справка за научните приноси
на д-р Мима Тодорова Томова
ас. в ИА с НАО, БАН

Симбиотичните звезди са дългопериодични взаимодействиящи двойни, състоящи се от хладен гигант от III – II клас светимост или мирида и компактен обект (субджудже, бяло джудже, неутронна звезда), акретиращ маса от атмосферата на хладния компонент. В резултат на акрецията компактният обект претърпява процеси на ерупция, наблюдаващи се като оптически избухвания и характеризиращи се в редица случаи с интензивно изхвърляне на маса във формата на оптически плътни обвивки, звезден вятър, дискретни изхвърляния, а също биполарно колимирано изтичане. Симбиотичните звезди осигуряват широки възможности за изследване както на процесите на загуба на маса и акреция, така и на механизмите на взаимодействие на компонентите в двойни системи. Процесът на изхвърляне на маса е свързан с изменение на болометричната светимост и преразпределение на енергията на избухващия обект и има изразено фотометрично проявление. Процесите на акреция и загуба на маса имат и спектрално проявление, водещо до възникване на сложни профили на линиите. Това определя актуалността на изследване на симбиотичните звезди както от наблюдателна, така и от теоретична гледна точка. По тази тема са получени следните основни приноси и резултати:

1. Получени са спектрални данни с високо разрешение в областта на линията H алфа от спектъра на симбиотичната система EG And в периода февруари 1993 – август 1994 г. и са интерпретирани в рамките на модела на взаимодействиящи ветрове (Tomov & Tomova 1995).

2. Фотометричните UBV данни на системата AG Peg, получени в периода 1995 – 2000 г. показват, че оптическият блясък претърпява два вида изменения: орбитални изменения, дължащи се предимно на окултация на мъглявината от хладния гигант и прогресивно намаляване, дължащо се на промяна на светимостта на компактният обект. Пресметнато е, че U потокът, излъчван в областта на вятъра на компактният обект, е само 2 – 4% от наблюдаемия U поток (Tomov & Tomova 1998, Tomov & Tomova 2001).

3. Симбиотичната система AG Dra бе наблюдавана фотометрично по време на нейната активна фаза в периода 1994 – 1998 г., включваща пет оптически избухвания. Бяха получени UBVRi данни в периода декември 1993 – февруари 1996 г. и UBV данни в периода юли 1996 – октомври 1997. Наблюденията са проведени главно по времето на понижение на блясъка след максимумите и в по-малка степен – в периодите между избухванията. Направено е заключение, че нарастването на потока на всички дължини се обуславя от нарастване на излъчването на околосвездената мъглявина, което от своя страна се дължи на нарастване количеството Лайманови кванти от избухващия компактен обект (Montagnì et al. 1996, Tomova & Tomov 1998).

4. Системата AG Dra бе наблюдавана фотометрично в ивиците UBV и в периода януари 1998 – юни 2000 г., обхващащ последното оптическо избухване и част от спокойния период след активната фаза (Tomov & Tomova 2000), а също бе изследвана по U данни от литературата, получени в спокойно състояние (Tomov et al. 2000). Измененията на U потока след активната фаза се обуславят от окултация на част от околосвездената мъглявина от гиганта в системата (Tomov & Tomova 2000, Tomov et al. 2000). U потокът в момента на орбиталния минимум обаче, бе по-висок от характерния поток в орбитален минимум. Направен е изводът, че това се дължи вероятно на изхвърлената от гиганта маса при нарастване на темпа на загуба над “спокойната”

стойност, а възможна причина е и нарастналата Лайманова светимост на компакния обект (Tomov & Tomova 2000).

5. Пресметната е мярата на емисия на околосвездната мъглявина на AG Dra по U фотометрични данни, получени от наблюдение и взети от литературата, в моментите на максимум на избухванията от активната фаза. Нейното нарастване многократно надхвърля нарастването на Лаймановата светимост на компакния спътник. Разликата не може да бъде "компенсирана" от ударна йонизация в газа. Дискутира се възможна причина (Tomov & Tomova 2002).

6. Системата AG Dra бе наблюдавана и спектрално както по време на активната фаза 1994 – 1998 г., така и в периода на спокойно състояние преди нея. Бяха получени CCD данни с високо разрешение в областта на линиите H α и HeII 4686, а също и фотографични данни с междинно разрешение в синята област. Получени са профили, потоци в линии и лъчеви скорости. Наблюденията показаха, че ширината на всички емисионни линии нарастваше с нарастване на блясъка (Tomova & Tomov 1999, Tomov & Tomova 2002). Ядрото на линията H α се променяше поради промяна на оптичната дебелина на околосвездната мъглявина (Tomova & Tomov 1999, Tomov & Tomova 2002). Интензивността на H α крилата се определяше от броя излъчващи атоми, който в спокойно състояние се променяше в резултат на окултация на част от мъглявината от гиганта в системата (Tomova & Tomov 1999), а по време на избухване – от нарастване на темпа на загуба на маса на гиганта и Лаймановата светимост на компакния спътник (Tomov & Tomova 2002). Получена е приблизителна оценка на общата изхвърлена маса от спътника при избухването през 1995 г. Направен е извода, че системата е била в режим на взаимодействащи ветрове. Пресметната е горната граница на общата механична енергия на ветровете, която е горна граница на рентгеновата светимост на ударната област (Tomova & Tomov 1999).

7. По данни от многоцветна UVRIJHKLM фотометрия е изследвана симбиотичната система Z And в спокойно състояние и по време на активност в периода 2000 – 2003 г. Определени са радиуса и ефективната температура на хладния гигант. Определени са също и електронната температура и мярата на емисия на околосвездната мъглявина в пет момента, в които блясъкът имаше характерните си за спокойно състояние стойности и в четири момента на активност. В момента на максимален блясък през декември 2000 г. мярата на емисия нарастна 4.4 пъти в сравнение със стойността си в спокойно състояние, а електронната температура остана една и съща през целия период на наблюдение. В същия момент горещият компактен спътник претърпя максимално разширение и радиусът на наблюдаемата фотосфера нарастна около 40 пъти, ефективната температура намаля значително, а болометричната светимост нарастна 4 – 5 пъти. В момента на втория максимум през ноември 2002 г., когато блясъкът беше значително по-слаб, спътникът претърпя слабо разширение – той остана горещ компактен обект както в спокойно състояние на системата (Tomov et al. 2003a, Tomov et al. 2004, Taranova et al. 2004, Tomova 2015).

8. Системата Z And е изследвана и по спектрални данни с високо разрешение в областта на линиите H α , HeII 4686 и H γ , получени в спокойно състояние и по време на избухването ѝ в периода 2000 – 2002 г. За обяснение на тези данни е предложен модел на избухващия компактен обект с високоскоростен звезден вятър и акреционен диск. Получен е темпът на загуба на маса на акретора, който възлиза на $2.4 \cdot 10^{-7} \text{ (d/1.12 kpc)}^{3/2} M_{\odot}/\text{yr}$ в момента на максимален блясък и намалява до $1.0 \cdot 10^{-7} \text{ (d/1.12 kpc)}^{3/2} M_{\odot}/\text{yr}$ през октомври 2001 г. (Tomov et al. 2003b, Tomov et al. 2008, Tomova et al. 2008, Tomov et al. 2013, Tomova 2015). В рамките на този модел е пресметнато UV излъчването на вятъра, което съставлява около 20% от общото небулярно излъчване на

системата. Оказва се, че около 90% от излъчването на вятъра е от плътната екваториална част (Tomova 2014).

9. По време на по-слабото избухване през ноември 2002 г. бе наблюдаван широк емисионен компонент на линията HeII 4686, показващ скорости до 1200 км/с. Предполага се, че се дължи най-вероятно на оптически тънък звезден вятър от спътника. Получена е горната граница на темпа на загуба на маса, която възлиза на $1.7 \cdot 10^{-7} (\text{d}/1.12 \text{ kpc})^{3/2} M_{\odot}/\text{yr}$ (Tomov et al. 2005a,b, Tomov et al. 2010a, Tomova 2015).

10. Най-силното от оптическите избухвания на Z And по време на активната ѝ фаза в периода 2000 – 2013 г. бе това през 2006 г., когато се появиха сателитни компоненти със скорости 1200 – 1500 км/с на някои (от водородните) спектрални линии, показващи колимирано изхвърляне. Балмеровите профили имаха до 4 групи компоненти: централна небулярна емисия, широк емисионен компонент от оптически тънък звезден вятър, Р Cug абсорбция и сателитни емисионни/абсорбционни компоненти. Това поведение се интерпретира в рамките на модела на колимиран звезден вятър. Определен е темпът на загуба на маса, който от $4\text{--}5 \cdot 10^{-7} (\text{d}/1.12 \text{ kpc})^{3/2} M_{\odot}/\text{yr}$ в максимума намалява до $1\text{--}2 \cdot 10^{-7} (\text{d}/1.12 \text{ kpc})^{3/2} M_{\odot}/\text{yr}$ през декември 2006 г. (Tomov et al. 2006, 2007, 2012, 2014).

11. На базата на резултати от газодинамично моделиране е предложен сценарий за обяснение на линейния спектър на Z And по време на активната ѝ фаза в периода 2000 – 2013 г., съдържащ два етапа от еволюцията на избухващия компактен обект и предоставящ възможност за интерпретация на всички компоненти на спектралните линии. Неговият общ характер позволява да се допусне, че той е възможен и за други класически симбиотични звезди (Kilpio et al. 2011, Tomov et al. 2010b, 2011a, b, 2014).

12. По спектрални данни с високо разрешение в областите на линиите H α и H β от спектъра на симбиотичната затъмнителна двойна BF Cug са детектирани спътникови компоненти – индикация за биполарно колимирано изтичане от компактният обект в системата по време на нейното оптическо избухване след 2006 г. На по-ранен етап от избухването колимираното изтичане беше оптически плътно, формиращо силен абсорбционен компонент в линията H β , а след това стана оптически тънко, най-вероятно поради намаляващия темп на загуба на маса на компактният обект. Лъчевата скорост на спътниковите компоненти е средно около 400 km/s, която при наклон на орбитата 75 – 80° съответства на скорост на изтичащия газ над 1500 km/s. С помощта на едновременна фотометрия са получени потоците енергия в спътниковите компоненти и тяхната мяра на емисия, която възлиза средно на около $1\text{--}2 \cdot 10^{59} (\text{d}/3.8 \text{ kpc})^2 \text{ cm}^{-3}$ (Skopal et al. 2013, Tomov et al. 2014, 2015).

13. На базата на многоцветна UBVR $_C$ I $_C$ фотометрия и нискодисперсионни спектри на системата BF Cug е получено и анализирано разпределението на енергията в континуума. Получени са основните параметри на компонентите. Оказва се, че избухващият компактен обект се е разширил значително, а ефективната му температура е намаляла. Мярата на емисия на околосвездната мъглявина е достигнала високата стойност $2.6 \cdot 10^{61} (\text{d}/3.8 \text{ kpc})^2 \text{ cm}^{-3}$, а нейната светимост – 5100 $L_{\odot}$ при използвано разстояние до системата 3.8 kpc (Skopal et al. 2015).

14. Наблюдавани са допълнителни спътникови емисионни компоненти с висока скорост в профилите на линиите H α и HeI 5876, показващи колимирано изхвърляне от симбиотичната система Hen 3-1341 през юни 2012 г. по време на фаза на активност (Tomov & Tomova 2013) и са интерпретирани в рамките на модела на колимиран звезден вятър (Tomov et al. 2013, Tomov et al. 2014).